

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2987140号

(45) 発行日 平成11年(1999)12月6日

(24) 登録日 平成11年(1999)10月1日

(51) Int.Cl. ⁹	識別記号	F I
H 0 1 J 1/30		H 0 1 J 1/30 M
9/02		9/02 M
19/24		19/24
21/10		21/10
29/04		29/04

請求項の数14(全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平10-272340	(73) 特許権者	000005832 松下電工株式会社 大阪府門真市大字門真1048番地
(22) 出願日	平成10年(1998)9月25日	(72) 発明者	菰田 卓哉 大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内
(65) 公開番号	特開平11-329213	(72) 発明者	越田 信義 東京都小平市上水本町6-5-10-203
(43) 公開日	平成11年(1999)11月30日	(74) 代理人	弁理士 西川 恵清 (外1名)
審査請求日	平成10年(1998)10月5日	審査官	波多江 進
(31) 優先権主張番号	特願平9-297108		
(32) 優先日	平9(1997)10月29日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願平10-65592		
(32) 優先日	平10(1998)3月16日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電界放射型電子源およびその製造方法および平面発光装置およびディスプレイ装置および固体真空デバイス

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され酸化されたナノメートル単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とする電界放射型電子源。

【請求項2】 導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され窒化されたナノメートル単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を

2

通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とする電界放射型電子源。

【請求項3】 上記多孔質のポリシリコン層は、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層された層であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の電界放射型電子源。

【請求項4】 上記多孔質のポリシリコン層は、厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の電界放射型電子源。

【請求項5】 上記多孔質のポリシリコン層は、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなるように厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の電界放射型電子源。

【請求項6】 上記ポリシリコン層は、ノンドープのポリシリコン層であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の電界放射型電子源。

【請求項7】 導電性基板は、一表面に導電性薄膜が形成された基板からなることを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれかに記載の電界放射型電子源。

【請求項8】 請求項1記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を酸化し、酸化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とする電界放射型電子源の製造方法。

【請求項9】 請求項2記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を窒化し、窒化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とする電界放射型電子源の製造方法。

【請求項10】 上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層されるように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする請求項8または請求項9記載の電界放射型電子源の製造方法。

【請求項11】 上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなり厚み方向に多孔度が連続的に変化するように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする請求項8または請求項9記載の電界放射型電子源の製造方法。

【請求項12】 請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とする平面発光装置。

【請求項13】 請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源をマトリクス状に構成し、各電界放射型電子源に印加する上記電圧をそれぞれ制御する手段と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするディスプレイ装置。

【請求項14】 少なくとも請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と陽極とが真空容器中に配設されて成ることを特徴とする固体真空デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体材料を用いて電界放射により電子線を放射するようにした電界放射型電子源およびその製造方法、および電界放射型電子源を利用した平面発光装置およびディスプレイ装置および固体真空デバイスに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来より、電界放射型電子源として、例えば米国特許3665241号などに開示されているいわゆるスピント (Spindt) 型電極と呼ばれるものがある。このスピント型電極は、微小な三角錐状のエミッタチップを多数配置した基板と、エミッタチップの先端部を露出させる放射孔を有するとともにエミッタチップに対して絶縁された形で配置されたゲート層とを備え、真空中にてエミッタチップをゲート層に対して負極として高電圧を印加することにより、エミッタチップの先端から放射孔を通して電子線を放射するものである。

【0003】 しかしながら、スピント型電極は、製造プロセスが複雑であるとともに、多数の三角錐状のエミッタチップを精度良く構成することが難しく、例えば平面発光装置やディスプレイなどへ応用する場合に大面積化が難しいという問題があった。また、スピント型電極は、電界がエミッタチップの先端に集中するので、エミッタチップの先端の周りの真真空度が低くて残留ガスが存在するような場合、放射された電子によって残留ガスがプラスイオンにイオン化され、プラスイオンがエミッタチップの先端に衝突するから、エミッタチップの先端がダメージ (例えば、イオン衝撃による損傷) を受け、放射される電子の電流密度や効率などが不安定になったり、エミッタチップの寿命が短くなってしまいうという問題が生じる。したがって、スピント型電極では、この種の問題の発生を防ぐために、高真空 (約 10^{-3} Pa ~ 約 10^{-6} Pa) で使用する必要があり、コストが高くなるとともに、取扱いが面倒になるという不具合があった。

【0004】 この種の不具合を改善するために、MIM (Metal Insulator Metal) 方式やMOS (Metal Oxide Semiconductor) 型の電界放射型電子源が提案されている。前者は金属-絶縁膜-金属、後者は金属-酸化膜-半導体の積層構造を有する平面型の電界放射型電子源である。しかしながら、このタイプの電界放射型電子源において電子の放射効率を高めるためには (多くの電子を放射させるためには)、上記絶縁膜や上記酸化膜の膜厚を薄くする必要があるが、上記絶縁膜や上記酸化膜の膜厚を薄くしすぎると、上記積層構造の上下の電極間に電圧を印加した時に絶縁破壊を起こす恐れがあり、このような絶縁破壊を防止するためには上記絶縁膜や上記酸化膜の膜厚の薄膜化に制約があるので、電子の放出効率 (引き出し効率) をあまり高くできないという不具合があった。

【0005】 また、近年では、特開平8-250766号公報に開示されているように、シリコン基板などの単結晶の半導体基板を用い、その半導体基板の一表面を陽極酸化することにより多孔質半導体層 (例えば、ポーラスシリコン層) を形成して、その多孔質半導体層上に金属薄膜を形成し、半導体基板と金属薄膜との間に電圧を印加して電子を放射させるように構成した電界放射型電

子源（半導体冷電子放出素子）が提案されている。

【0006】また、特開平9-259795号公報には、上記特開平8-250766号公報に開示されている構成の電界放射型電子源（半導体冷電子放出素子）を有する冷電子放出表示装置が提案されている。なお、この冷電子放出表示装置においては、単結晶シリコン基板の〔100〕方向が表面に垂直に配向していることが、ポーラスシリコン層の電子放出効率の点で好ましいとされている。この理由としては、単結晶シリコンの（100）基板を陽極酸化すると、表面から深さ数 μm にわたって孔が形成され、孔およびシリコン結晶が表面に垂直に配向するからであると推定されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の特開平8-250766号公報に記載の電界放射型電子源では、基板が半導体基板に限られるので、大面積化やコストダウン化が難しいという不具合がある。また、特開平8-250766号公報および特開平9-259795号公報に記載の電界放射型電子源では電子放出時にいわゆるポッピング現象が生じやすく、放出電子量にむらが生じやすいため、平面発光装置やディスプレイ装置などに応用すると、発光むらが生じてしまうという不具合がある。

【0008】本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源およびその製造方法および平面発光装置およびディスプレイ装置および固体真空デバイスを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、上記目的を達成するために、導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され酸化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とするものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、また、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるので、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0010】請求項2の発明は、導電性基板と、導電性

基板の一表面側に形成され酸化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とするものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、また、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるので、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0011】請求項3の発明は、請求項1または請求項2の発明において、上記多孔質のポリシリコン層は、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層された層であることを特徴とする。

【0012】請求項4の発明は、請求項1または請求項2の発明において、上記多孔質のポリシリコン層は、厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする。

【0013】請求項5の発明は、請求項1または請求項2の発明において、上記多孔質のポリシリコン層は、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなるように厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする。

【0014】請求項6の発明は、請求項1乃至請求項5の発明において、上記ポリシリコン層が、ノンドープのポリシリコン層なので、酸化または窒化された多孔質のポリシリコン層が半絶縁性となり、上記電圧を印加することにより該多孔質のポリシリコン層が強電界となつて、導電性基板側から該多孔質のポリシリコン層に注入された電子がドリフトして該多孔質のポリシリコン層の表面に達し、ホットエレクトロンとして金属薄膜をトンネルすることにより電子が放射されるから、上記ポリシリコン層がドーピングされている場合に比べて高効率で安定して電子を放出することができ、また、ドーピングが不要なので製造が容易になる。

【0015】請求項7の発明は、請求項1乃至請求項6の発明において、導電性基板は、一表面に導電性薄膜が形成された基板からなるので、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板を用いる場合に比べて大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0016】請求項8の発明は、請求項1記載の電界放射型電子源の製造方法であつて、導電性基板上にポリシ

10

20

30

40

50

リコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を酸化し、酸化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とし、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができる。

【0017】請求項9の発明は、請求項2記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を窒化し、窒化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とし、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができる。

【0018】請求項10の発明は、請求項8または請求項9の発明において、上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層されるように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする。

【0019】請求項11の発明は、請求項8または請求項9の発明において、上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなり厚み方向に多孔度が連続的に変化するように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする。

【0020】請求項12の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろうので、収束電極を設ける必要がなく、構造が簡単になるとともに薄型の平面発光装置を実現することができる。

【0021】請求項13の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源をマトリクス状に構成し、各電界放射型電子源に印加する上記電圧をそれぞれ制御する手段と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろうので、複雑なシャドウマスクや電子収束レンズを設ける必要がなく、高精細なディスプレイ装置を実現することができる。

【0022】請求項14の発明は、少なくとも請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と陽

極とが真空容器中に配設されて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源が冷陰極を構成するから、従来の熱電子放射を利用した熱陰極を有する固体真空デバイスのように加熱手段を設ける必要がなく、小型化が可能になるとともに陰極物質の蒸発や劣化を抑制することができ、長寿命の固体真空デバイスを実現することができる。

【0023】ところで、本発明者は、鋭意研究の結果、従来の技術で説明した特開平8-250766号公報および特開平9-259795号公報に記載の構造では、単結晶シリコン基板などの半導体基板の主表面側を多孔質化して電子が注入される多孔質層を形成しているので電界放射型電子源の断熱性が高く、電圧が印加され電流が流れた場合の基板温度の上昇が比較的大きいという知見を得た。さらに、該温度上昇により電子が熱的に励起されるとともに半導体基板の抵抗が下がり、電子の放出量が増えるので、これにより電子放出時にポッピング現象が生じやすく、放出電子量にむらが起こりやすいとの知見を得た。そこで、発明者は、上記知見に基づいて本発明を行った。

【0024】

【発明の実施の形態】（実施形態1）図1に本実施形態の電界放射型電子源10の概略構成図を、図2(a)～(e)に電界放射型電子源10の製造方法における主要工程断面図を示す。なお、本実施形態では、導電性基板としてn形シリコン基板1（抵抗率が略0.1Ωcmの(100)基板）を用いている。

【0025】本実施形態の電界放射型電子源10は、図1に示すように、n形シリコン基板1の主表面上に急速熱酸化されたポリシリコン層5が形成され、該ポリシリコン層5上に急速熱酸化された多孔質ポリシリコン層6が形成され、該多孔質ポリシリコン層6上に金属薄膜たる金薄膜7が形成されている。また、n形シリコン基板1の裏面にはオーミック電極2が形成されている。

【0026】ところで、本実施形態では、導電性基板としてn形シリコン基板1を用いているが、導電性基板は、電界放射型電子源10の負極を構成するとともに真空中において上述の多孔質ポリシリコン層6を支持し、なお且つ、多孔質ポリシリコン層6へ電子を注入するのである。したがって、導電性基板は、電界放射型電子源10の負極を構成し多孔質ポリシリコン層6を支持することができればよいので、n形シリコン基板に限定されるものではなく、クロムなどの金属基板であってもよいし、ガラスなどの絶縁性基板の一表面に導電性膜を形成したものであってもよい。ガラス基板の一表面に導電性膜を形成した基板を用いる場合には、半導体基板を用いる場合に比べて、電子源の大面積化および低コスト化が可能になる。

【0027】また、上述の多孔質ポリシリコン層6は、導電性基板と金属薄膜との間に電圧を印加したときに電

子が注入される層である。多孔質ポリシリコン層6は、多数のグレインよりなる多結晶体であり、各グレインの表面には酸化膜を有するナノメータ単位の構造（以下、ナノ構造と称す）が存在する。多孔質ポリシリコン層6に注入された電子がナノ構造に衝突することなく（つまり、電子散乱することなく）多孔質ポリシリコン層6の表面に到達するためには、ナノ構造の大きさは、単結晶シリコン中の電子の平均自由行程である約50nmよりも小さいものであることが必要である。ナノ構造の大きさは、具体的には10nmより小さいものがよく、好ましくは5nmよりも小さいものがよい。なお、本実施形態では、多孔質ポリシリコン層6は急速熱酸化されているが、急速熱酸化に限定されるものではなく、化学的方法によって酸化してもよく、また、窒化するようにしてもよい。

【0028】また、本実施形態においては、金属薄膜として金薄膜7を用いているが、金属薄膜は、電界放射型電子源10の正極を構成するものであり、多孔質ポリシリコン層6に電界を印加するものである。この電界の印加により多孔質ポリシリコン層6の表面に到達した電子はトンネル効果によって金属薄膜の表面から放出される。したがって、導電性基板と金属薄膜との間に印加する直流電圧によって得られる電子のエネルギーから金属薄膜の仕事関数を差し引いたエネルギーが放出される電子の理想的なエネルギーとなるので、金属薄膜の仕事関数は小さいほど望ましい。なお、本実施形態では、金属薄膜の材料として金を用いているが、金属薄膜の材料は金に限定されるものではなく、仕事関数の小さな金属であればよく、例えば、アルミニウム、クロム、タングステン、ニッケル、白金などを用いてもよい。ここに、金の仕事関数は5.10eV、アルミニウムの仕事関数は4.28eV、クロムの仕事関数は4.50eV、タングステンの仕事関数は4.55eV、ニッケルの仕事関数は5.15eV、白金の仕事関数は5.65eVである。

【0029】以下、製造方法を図2を参照しながら説明する。

【0030】まず、n形シリコン基板1の裏面にオーミック電極2を形成した後、n形シリコン基板1の表面に膜厚が略1.5μmのノンドーブのポリシリコン層3を形成することにより図2(a)に示すような構造が得られる。ポリシリコン層3の成膜は、LPCVD法により行い、成膜条件は、真空度を20Pa、基板温度を640℃、モノシランガスの流量を600sccmとした。なお、ポリシリコン層3の成膜は、導電性基板が半導体基板の場合にはLPCVD法やスパッタ法により行ってもよいし、あるいは、プラズマCVD法によってアモルファスシリコンを成膜した後アニール処理を行うことにより結晶化させて成膜してもよい。また、導電性基板がガラス基板に導電性薄膜を形成した基板の場合には、CVD法により導電性薄膜上にアモルファスシリコンを

成膜した後エキシマレーザでアニールすることにより、ポリシリコン層を形成してもよい。また、導電性薄膜上にポリシリコン層を形成する方法はCVD法に限定されるものではなく、例えばCGS(Continuous Grain Silicon)法や触媒CVD法などを用いてもよい。

【0031】ノンドーブのポリシリコン層3を形成した後、55wt%のフッ化水素水溶液とエタノールとを略1:1で混合した混合液よりなる電解液を用い、白金電極（図示せず）を負極、n形シリコン基板1（オーミック電極2）を正極として、ポリシリコン層3に光照射を行いながら定電流で陽極酸化処理を行うことによって、多孔質ポリシリコン層4（以下、PPS層4と称す）が形成され図2(b)に示すような構造が得られる。なお、本実施形態では、陽極酸化処理の条件として、電流密度を10mA/cm²一定、陽極酸化時間を30秒とするとともに、陽極酸化中に500Wのタングステンランプによりポリシリコン層3の表面に光照射を行った。その結果、本実施形態では、膜厚が略1μmの多孔質ポリシリコン層4が形成された。なお、本実施形態では、ポリシリコン層3の一部を多孔質化しているが、ポリシリコン層3全部を多孔質化してもよい。

【0032】次に、急速熱酸化(RTO: Rapid Thermal Oxidation)技術によってPPS層4及びポリシリコン層3の急速熱酸化を行うことにより図2(c)に示す構造が得られる。ここに、図2(c)における5は急速熱酸化されたポリシリコン層を、6は急速熱酸化されたPPS層（以下、RTO-PPS層6と称す）を示す。急速熱酸化の条件としては、酸化温度を900℃、酸化時間を1時間とした。なお、本実施形態では、PPS層4及びポリシリコン層3の酸化を急速熱酸化により行っているため、数秒で酸化温度まで昇温することが可能であり、通常の炉心管タイプの酸化装置で問題となる入炉時の巻き込み酸化を抑制することができる。また、実施形態では、急速熱酸化技術によってPPS層4及びポリシリコン層3を急速熱酸化しているが、急速熱酸化に限らず、化学的方法により酸化してもよし、酸素プラズマにより酸化してもよい。また、酸化の替りに窒化するようにしてもよく、窒化の場合には、窒素プラズマによる窒化や熱的な窒化などの方法を用いばよい。

【0033】次に、RTO-PPS層6上に金属薄膜たる金薄膜7を例えば蒸着により形成することによって、図2(d)(図1)に示す構造の電界放射型電子源10が得られる。ここに、本実施形態では、金薄膜7の膜厚を略10nmとしたが、この膜厚は特に限定するものではない。なお、電界放射型電子源10は金薄膜7を電極の正極（アノード）とし、オーミック電極2を負極（カソード）とするダイオードが構成される。また、本実施形態では、金属薄膜を蒸着により形成しているが、金属薄膜の形成方法は蒸着に限定されるものではなく、例えばスパッタ法を用いてもよい。

【0034】以下、本実施形態の電界放射型電子源10の特性について説明する。

【0035】上述の電界放射型電子源10を真空チャンバ(図示せず)内に導入して、図3に示すように金薄膜7と対向する位置にコレクタ電極21(放射電子収集電極)を配置し、真空チャンバ内の真空度を約 5×10^{-5} Paとして、金薄膜7とオーミック電極2との間に直流電圧 V_{ps} を印加するとともに、コレクタ電極21と金薄膜7との間に直流電圧 V_c を印加することによって、金薄膜7とオーミック電極2との間に流れるダイオード電流 I_{ps} と、電界放射型電子源10から金薄膜7を通して放射される電子 e^- (なお、図3中の一点鎖線は放射電子流を示す)によりコレクタ電極21と金薄膜7との間に流れる放出電子電流 I_e とを測定した結果を図4に示す。ここに、金薄膜7はオーミック電極2(つまり、n形シリコン基板1)に対して正極として直流電圧 V_{ps} を印加し、コレクタ電極21は金薄膜7に対して正極として直流電圧 V_c を印加している。

【0036】図4の横軸は直流電圧 V_{ps} の値を、縦軸は電流密度を示し、同図中のイ(○)がダイオード電流 I_{ps} を、同図中のロ(●)が放出電子電流 I_e を示す。なお、直流電圧 V_c は100V一定とした。

【0037】図4からも分かるように、放出電子電流 I_e は直流電圧 V_{ps} が正のときのみ観測され、直流電圧 V_{ps} の値を増加させるにつれてダイオード電流 I_{ps} 及び放出電子電流 I_e とも増加した。例えば、直流電圧 V_{ps} を15Vとしたとき、ダイオード電流 I_{ps} の電流密度は略 100 mA/cm^2 、放出電子電流 I_e の電流密度は略 $10 \mu\text{A/cm}^2$ であり、この放出電子電流 I_e の値は従来例で説明した単結晶シリコン基板の表面を多孔質化することにより実現される電界放射型電子源に比べて大きな値であり(例えば、電子情報通信学会ED96-141, P41-46によれば、直流電圧 V_{ps} を15Vとしたとき、ダイオード電流 I_{ps} の電流密度は略 40 mA/cm^2 、放出電子電流 I_e の電流密度は略 $1 \mu\text{A/cm}^2$ である)、本実施形態の電界放射型電子源10の電子の放出効率が高いことが分かる。

【0038】図5に、この放出電子電流 I_e と直流電圧 V_{ps} とに関するデータをFowler-Nordheim(ファウラーノルドハイム)プロットした結果を示す。図5より、各データが直線上にのることから、この放出電子電流 I_e は量子的なトンネル効果による電子の放出による電流であると推考される。このときの電子放出の機構を図6のエネルギーバンド図により説明する。なお、図6中の $n'-\text{Si}$ はn形シリコン基板1を、 RTO-PPS は上述の RTO-PPS 層6を、 SiO_x は RTO-PPS 層6の最表面に形成された酸化シリコン薄膜、 Au は金薄膜7を、 E_F はフェルミレベルを、 E_{vac} は真空レベルを、それぞれ示す。また、図6(a)は直流電圧 V_{ps} の印加前の状態を示し、図6(b)は直

流電圧 V_{ps} を印加したときの状態を示す。金薄膜7をn形シリコン基板1に対して正極として直流電圧 V_{ps} を印加し、この直流電圧 V_{ps} が所定値(臨界値)に達すると、図6(b)に示すように、n形シリコン基板1側から RTO-PPS 層6に熱的励起により電子 e^- が注入される。このとき、直流電圧 V_{ps} のほとんどは半絶縁性の RTO-PPS 層6にかかっているため、注入された電子 e^- は RTO-PPS 層6内に存在する強電界(平均電界は略 10^5 V/cm)によってドリフトされ、不規則なポテンシャルや格子などの散乱により運動エネルギーを失いながら表面側に向かっていく(なお、この過程では衝突電離による電子倍増もありうる)。 RTO-PPS 層6の表面に到達した電子 e^- は、熱平衡状態よりも高い運動エネルギーをもったいわゆるホットエレクトロン(熱い電子)と考えられ、電界効果により RTO-PPS 層6の最表面の SiO_x のサブバンドを介して金薄膜7を容易にトンネルし外部に放出されるものと推考される。

【0039】この理論を確認するために、本実施形態の電界放射型電子源10から放射される電子のエネルギー $N(E)$ のエネルギー分布を測定した結果を図7に示す。図7において、イは直流電圧 V_{ps} を12Vとした場合、ロは直流電圧 V_{ps} を15Vとした場合、ハは直流電圧 V_{ps} を18Vとした場合、をそれぞれ示す。図7から、電子のエネルギー $N(E)$ のエネルギー分布は比較的にブロードであって、しかも数eVの高エネルギー成分を含んでおり、印加する直流電圧 V_{ps} の増加とともにピーク位置が高エネルギー側へシフトすることがわかった。したがって、 RTO-PPS 層6での電子散乱は少なく、 RTO-PPS 層6の表面側に到達した電子は十分なエネルギーを有するホットエレクトロンであると考えられる。なお、図6中の二点鎖線で示した円A内の図は、放出直前の電子のエネルギー分布 $n(E)$ とトンネル放出確率 $T(E)$ との関係を定性的に示したものであり、放出電子のエネルギー $N(E)$ のエネルギー分布の形状は $n(E)$ と $T(E)$ との乗算により決まる($N(E) = n(E)T(E)$)。例えば、直流電圧 V_{ps} の電圧が増加すると、 $n(E)$ は高エネルギー側のテール成分が増えるように変化し、その結果として $N(E)$ も全体的に高エネルギー側へシフトする。

【0040】なお、熱平衡状態にまで緩和してしまう強い散乱を電子が受けていないということは、 RTO-PPS 層6内でのエネルギー損失、すなわち、熱的なロスが少ないということを意味し、放出電子電流 I_e の効率が高く安定して電子を放出することができると考えられる。図8は本実施形態の電界放射型電子源10のダイオード電流 I_{ps} および放出電子電流 I_e それぞれの経時変化を示すグラフであって、横軸が時間、縦軸が電流密度であり、同図中のイがダイオード電流 I_{ps} を、同図中のロが放出電子電流 I_e を示す。なお、図8は、直流電圧

Vpsを15V一定、直流電圧Vcを100V一定とした場合の結果である。図8からわかるように、本実施形態の電界放射型電子源10では、ダイオード電流Ips、放出電子電流Ie両方ともポッピング現象は観測されず、時間が経過しても略一定のダイオード電流Ips及び放出電子電流Ieを維持することができる。これは、RTO-PPS層6は各グレインの表面が多孔質化し各グレインの中心部分では結晶状態が維持されており、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出され、温度上昇が抑制されるからであると推考される。このような放出電子電流Ieの経時変化の少ない安定した特性は、従来のMIM方式や単結晶シリコン基板の表面を多孔質化することにより実現される電界放射型電子源では得られない特性であり、本発明の構造を採用することにより得られる特性である。

【0041】次に、本実施形態の電界放射型電子源10の放出電子電流Ieの真空度依存性について説明する。図9は本実施形態の電界放射型電子源10の周囲をArガス雰囲気として真空度を変化させたときのダイオード電流Ips及び放出電子電流Ieの変化を示す。図9は横軸が真空度、縦軸が電流密度であり、同図中のイ(○)がダイオード電流Ipsを、同図中のロ(●)が放出電子電流Ieを示す。図9から、真空度が約 10^{-3} Pa〜約1Paの範囲では略一定の放出電子電流Ieが得られ、放出電子電流Ieの真空度依存性が小さいことがわかる。すなわち、本実施形態の電界放射型電子源10は電子放出特性の真空度依存性が小さいので、真空度が多少変化しても安定して電子を効率良く放出(放射)することができ、低真空度でも良好な電子放出特性が得られ従来のような高真空で使用する必要がないから、電界放射型電子源10を利用する装置の低コスト化が図れるとともに取扱いが容易になる。

【0042】本実施形態では、導電性基板としてn形シリコン基板1(抵抗率が略 $0.1\Omega\text{cm}$ の(100)基板)を用いているが、導電性基板はn形シリコン基板に限定されるものではなく、例えば、金属基板や、ガラス基板などに透明導電性薄膜(例えば、ITO: Indium Tin Oxide)や白金やクロムなどの導電性膜を形成した基板などを用いてもよく、n形シリコン基板などの半導体基板を用いる場合に比べて大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0043】(実施形態2)本実施形態の電界放射型電子源10の基本構成は図1に示した実施形態1と略同じでなので図示を省略し、製造方法を図10及び図11を参照しながら説明する。本実施形態では、実施形態1における多孔質ポリシリコン層6が、図11(c)に示すように多孔度の高いポリシリコン層6bと多孔度の低いポリシリコン層6aとが交互に積層された層により構成されている点が相違する。なお、本実施形態においても、実施形態1と同様に、導電性基板としてn形シリコ

ン基板1(抵抗率が略 $0.1\Omega\text{cm}$ の(100)基板)を用いている。

【0044】まず、n形シリコン基板1の裏面にオーミック電極2を形成した後、n形シリコン基板1の表面に膜厚が略 $1.5\mu\text{m}$ のnドープのポリシリコン層3を形成することにより図10(a)に示すような構造が得られる。

【0045】次に、55wt%のフッ化水素水溶液とエタノールとを略1:1で混合した混合液よりなる電解液を用い、白金電極(図示せず)を負極、n形シリコン基板1(オーミック電極2)を正極として、ポリシリコン層3に光照射を行いながら定電流で陽極酸化処理を行う。ここにおいて、陽極酸化処理は次の手順で行った。陽極酸化処理の条件として、電流密度を $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 一定、陽極酸化時間を4秒とする第1の条件と、電流密度を $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 一定、陽極酸化時間を5秒とする第2の条件とを設定し、第1の条件での陽極酸化処理と第2の条件での陽極酸化処理とを交互に3回繰り返して行った。但し、陽極酸化中には500Wのタングステンランプにより表面に光を照射することとした。ここで、第1の条件での陽極酸化が終了した時点では、ポリシリコン層3の表面側に多孔度の低い多孔質ポリシリコン層4a(以下、PPS層4aと称す)が形成され図10(b)に示すような構造が得られる。その後、第2の条件での陽極酸化が終了した時点では、上記多孔質ポリシリコン層4aよりもn形シリコン基板1側に、PPS層4aよりも多孔度の高い多孔質ポリシリコン層4b(以下、PPS層4bと称す)が形成され図10(c)に示すような構造が得られる。しかして、第1の条件、第2の条件での陽極酸化が3回ずつ終了した時点では、PPS層4aとPPS層4bとが交互に積層された図11(a)に示す構造が得られる。なお、本実施形態では、PPS層4aとPPS層4bとの積層構造よりなる多孔質ポリシリコン層の膜厚は略 $1\mu\text{m}$ であった。また、本実施形態では、ポリシリコン層3の一部を多孔質化しているが、ポリシリコン層3全部を多孔質化してもよい。

【0046】次に、急速熱酸化(RTO: Rapid Thermal Oxidation)技術によって全てのPPS層4a、4b及びポリシリコン層3の急速熱酸化を行うことにより図11(b)に示す構造が得られる。ここに、図11(b)における5は急速熱酸化されたポリシリコン層を、6a、6bは急速熱酸化された上記多孔質ポリシリコン層(以下、RTO-PPS層6a、6bと称す)を示す。急速熱酸化の条件としては、酸化温度を 900°C 、酸化時間を1時間とした。なお、本実施形態では、PPS層4a、4b及びポリシリコン層3の酸化を急速熱酸化により行っているため、数秒で酸化温度まで昇温することが可能であり、通常の炉心管タイプの酸化装置で問題となる入炉時の巻き込み酸化を抑制することがで

きる。

【0047】その後、最上層のRTO-PPS層6a上に金属薄膜たる金薄膜7を例えば蒸着により形成することによって、図11(c)に示す構造の電界放射型電子源10が得られる。ここに、本実施形態では、金薄膜7の膜厚を略10nmとしたが、この膜厚は特に限定するものではない。なお、電界放射型電子源10は金薄膜7を電極の正極(アノード)とし、オーミック電極2を負極(カソード)とするダイオードが構成される。

【0048】以下、本実施形態の電界放射型電子源10

10 10 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10055 10060 10065 10070 10075 10080 10085 10090 10095 10100 10105 10110 10115 10120 10125 10130 10135 10140 10145 10150 10155 10160 10165 10170 10175 10180 10185 10190 10195 10200 10205 10210 10215 10220 10225 10230 10235 10240 10245 10250 10255 10260 10265 10270 10275 10280 10285 10290 10295 10300 10305 10310 10315 10320 10325 10330 10335 10340 10345 10350 10355 10360 10365 10370 10375 10380 10385 10390 10395 10400 10405 10410 10415 10420 10425 10430 10435 10440 10445 10450 10455 10460 10465 10470 10475 10480 10485 10490 10495 10500 10505 10510 10515 10520 10525 10530 10535 10540 10545 10550 10555 10560 10565 10570 10575 10580 10585 10590 10595 10600 10605 10610 10615 10620 10625 10630 10635 10640 10645 10650 10655 10660 10665 10670 10675 10680 10685 10690 10695 10700 10705 10710 10715 10720 10725 10730 10735 10740 10745 10750 10755 10760 10765 10770 10775 10780 10785 10790 10795 10800 10805 10810 10815 10820 10825 10830 10835 10840 10845 10850 10855 10860 10865 10870 10875 10880 10885 10890 10895 10900 10905 10910 10915 10920 10925 10930 10935 10940 10945 10950 10955 10960 10965 10970 10975 10980 10985 10990 10995 11000 11005 11010 11015 11020 11025 11030 11035 11040 11045 11050 11055 11060 11065 11070 11075 11080 11085 11090 11095 11100 11105 11110 11115 11120 11125 11130 11135 11140 11145 11150 11155 11160 11165 11170 11175 11180 11185 11190 11195 11200 11205 11210 11215 11220 11225 11230 11235 11240 11245 11250 11255 11260 11265 11270 11275 11280 11285 11290 11295 11300 11305 11310 11315 11320 11325 11330 11335 11340 11345 11350 11355 11360 11365 11370 11375 11380 11385 11390 11395 11400 11405 11410 11415 11420 11425 11430 11435 11440 11445 11450 11455 11460 11465 11470 11475 11480 11485 11490 11495 11500 11505 11510 11515 11520 11525 11530 11535 11540 11545 11550 11555 11560 11565 11570 11575 11580 11585 11590 11595 11600 11605 11610 11615 11620 11625 11630 11635 11640 11645 11650 11655 11660 11665 11670 11675 11680 11685 11690 11695 11700 11705 11710 11715 11720 11725 11730 11735 11740 11745 11750 11755 11760 11765 11770 11775 11780 11785 11790 11795 11800 11805 11810 11815 11820 11825 11830 11835 11840

層3に光照射を行いながら定電流で陽極酸化処理を行う。ここにおいて、陽極酸化処理は、電流密度を 0 mA/cm^2 として陽極酸化を開始し、時間経過とともに電流密度を 0 mA/cm^2 から 20 mA/cm^2 まで連続的に(徐々に)増加させる。但し、陽極酸化中には 500 W のタングステンランプにより表面に光を照射することとした。しかして、陽極酸化処理が終了した時点では、 n 形シリコン基板1に近い側が高多孔度で表面に近い方が低多孔度となり多孔度が厚み方向に連続的に変化した多孔質ポリシリコン層4c(以下、PPS層4cと称す)が形成され図16(b)に示すような構造が得られる。なお、本実施形態では、PPS層4cの膜厚は略 $1\text{ }\mu\text{m}$ であった。また、本実施形態では、ポリシリコン層3の一部を多孔質化しているが、ポリシリコン層3全部を多孔質化してもよい。

【0058】次に、急速熱酸化技術によってPPS層4c及びポリシリコン層3の急速熱酸化を行い(急速熱酸化の条件としては、酸化温度を 900°C 、酸化時間を1時間とした)、金属薄膜たる金薄膜7を例えば蒸着により形成することによって、図16(c)に示す構造の電界放射型電子源10が得られる。ここに、本実施形態では、金薄膜7の膜厚を略 10 nm としたが、この膜厚は特に限定されるものではない。なお、電界放射型電子源10は金薄膜7を電極の正極(アノード)とし、オーミック電極2を負極(カソード)とするダイオードが構成される。また、図16(c)において、5は急速熱酸化されたポリシリコン層を、6は急速熱酸化されたPPS層4c(RTO-PPS層6)を示す。

【0059】なお、本実施形態では、陽極酸化処理において電流密度を徐々に増加させることにより多孔度を変化させているが、電流密度を徐々に減少させることにより多孔度を変化させるようにしてよく、後者の場合には、 n 形シリコン基板1に近い側が低多孔度で表面に近い側が高多孔度となる。

【0060】(実施形態4)図17に実施形態1の電界放射型電子源10を利用した平面発光装置の概略構成図を示す。なお、実施形態1と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略する。ここにおいて、電界放射型電子源10としては、実施形態2または実施形態3の電界放射型電子源10を用いてもよい。

【0061】本実施形態の平面発光装置は、電界放射型電子源10と、電界放射型電子源10の金薄膜7に対向配置される透明電極31を備え、透明電極31には電界放射型電子源10から放射される電子線により可視光を発光する蛍光体32が塗布してある。また、透明電極31はガラス基板などの透明板33に塗布形成してある。ここに、透明電極31及び蛍光体32が形成された透明板33はスペーサ34を介して電界放射型電子源10と一体化してあり、透明板33とスペーサ34と電界放射型電子源10とで囲まれる内部空間を所定の真空中にし

てある。したがって、電界放射型電子源10から電子を放射させることによって、蛍光体32を発光させることができ、蛍光体32の発光を透明電極31及び透明板33を通して外部に表示することができる。

【0062】本実施形態の平面発光装置において、透明電極31を金薄膜7に対して正極とし透明電極31と金薄膜7との間に 1 kV の直流電圧 V_c を印加した状態で、電界放射型電子源10の金薄膜7とオーミック電極2との間に 15 V 程度の直流電圧 V_{ps} を印加して電子を放出(放射)させたところ、金薄膜7の面積(サイズ)に対応する蛍光パターンが得られた。これは、電界放射型電子源10から放射される放出電子電流 I_e 密度が金薄膜7の面内で略均一であることを示すとともに、放射される電子 e^- が金薄膜7から略垂直方向に放射され、電子 e^- の流れが拉がったり狭まったりすることなく略平行となっていることを示す証左である。したがって、本実施形態では、電子 e^- が金薄膜7の面内で略均一に略垂直方向へ放射されるから、従来の平面発光装置で用いられる収束電極を設ける必要がなく、構造が簡単になるとともに低コスト化が可能になる。また、電界放射型電子源10からの電子の放出時にポッピング現象が発生しないので、表示むらを少なくすることができる。

【0063】(実施形態5)図18に実施形態1ないし実施形態3のいずれかに記載の電界放射型電子源10をディスプレイ装置に利用する場合の電子源部の概略構成図を示す。本実施形態では、図18に示すように、実施形態1ないし実施形態3のいずれかに記載の電界放射型電子源10をマトリクス状(アレイ状)に構成し、各電界放射型電子源10を各ピクセルに対応させてあり、Xマトリクスコントロール回路41とYマトリクスコントロール回路42とで各電界放射型電子源10に印加する上述(実施形態1で説明)の直流電圧 V_{ps} をそれぞれオンオフするようになっている。すなわち、本実施形態では、Xマトリクスコントロール回路41とYマトリクスコントロール回路42とによって直流電圧 V_{ps} を印加する電界放射型電子源10を選択するようになっており、選択された電界放射型電子源10からのみ電子が放射される。

【0064】なお、本実施形態のディスプレイ装置では、図示しないが、実施形態4と同様に、電子源部に対向配置される(つまり、電界放射型電子源10の金薄膜7に対向配置される)透明電極を備え、透明電極には電界放射型電子源10から放射される電子線により可視光を発光する蛍光体が塗布してある。また、透明電極はガラス基板などの透明板に塗布形成してある。

【0065】ところで、上述のように電界放射型電子源10から放射される電子は、金薄膜7の面内で略均一に金薄膜7から略垂直方向に放射されその電子流は略平行しているので、本実施形態のディスプレイ装置では、電界放射型電子源10に対向する蛍光体部分のみを発光さ

せることができる。したがって、従来のような複雑なシャドウマスクを設ける必要がなく、高精細なディスプレイ装置を実現することが可能となる。

【0066】（実施形態6）図19に実施形態1に記載の電界放射型電子源10を利用した固体真空デバイスの概略構成図を示す。なお、実施形態1と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略する。また、電界放射型電子源10としては実施形態2または実施形態3の構造を採用してもよい。

【0067】本実施形態の固体真空デバイスは、三極管 10 タイプのものであって、電界放射型電子源10をカソードとし、電界放射型電子源10の金薄膜7に対向してアノード電極51（陽極）を配置し、アノード電極51とカソードとの間にメッシュ状のグリッド52を設けてある。また、アノード電極51、グリッド52、カソードは封止材53、54によって真空封止されている。なお、本実施形態では、封止材53、54とn形シリコン基板1よりなる導電性基板とで真空容器を構成している。

【0068】本実施形態の固体真空デバイスは、電界放射型電子源10に上述の直流電圧 V_{ps} を印加することにより電界放射型電子源10、つまりカソードから電子が放射され、アノード電極51と金薄膜7との間に印加されるアノード電圧 V_a により加速されるので、アノード電極51とカソードとの間にアノード電流 I_a が流れる。なお、このアノード電流 I_a の大きさは、グリッド52を負極としてグリッド52とオーミック電極2との間に印加する直流電圧 V_g の値を変化させることにより制御できる。

【0069】従来の真空デバイスは熱電子放射を用いた陰極が主流であるが、本発明の電界放射型電子源を用いれば、冷陰極で長寿命の固体真空デバイスを実現することができる。

【0070】なお、本実施形態では三極管タイプの固体真空デバイスについて説明したが、多極管タイプであってもよいことは勿論である。

【0071】

【発明の効果】請求項1の発明は、導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され酸化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されているものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、ま

た、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるから、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になるという効果がある。

【0072】請求項2の発明は、導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され窒化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されているものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、また、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるから、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になるという効果がある。

【0073】請求項6の発明は、請求項1乃至請求項5の発明において、上記ポリシリコン層が、ノンドープのポリシリコン層なので、酸化または窒化された多孔質のポリシリコン層が半絶縁性となり、上記電圧を印加することにより該多孔質のポリシリコン層が強電界となつて、導電性基板側から該多孔質のポリシリコン層に注入された電子がドリフトして該多孔質のポリシリコン層の表面に達し、ホットエレクトロンとして金属薄膜をトンネルすることにより電子が放射されるから、上記ポリシリコン層がドーピングされている場合に比べて高効率で安定して電子を放出することができ、また、ドーピングが不要なので製造が容易になるという効果がある。

【0074】請求項7の発明は、請求項1乃至請求項6の発明において、導電性基板は、一表面に導電性薄膜が形成された基板からなるので、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板を用いる場合に比べて大面積化及び低コスト化が可能になるという効果がある。

【0075】請求項8の発明は、請求項1記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を酸化し、酸化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成するので、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界

放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができるという効果がある。

【0076】請求項9の発明は、請求項2記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を窒化し、窒化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成するので、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができるという効果がある。

【0077】請求項12の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられているので、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろうから、収束電極を設ける必要がなく、構造が簡単になるとともに薄型の平面発光装置を実現することができるという効果がある。

【0078】請求項13の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源をマトリクス状に構成し、各電界放射型電子源に印加する上記電圧をそれぞれ制御する手段と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろうので、複雑なシャドウマスクや電子収束レンズを設ける必要がなく、高精細なディスプレイ装置を実現することができるという効果がある。

【0079】請求項14の発明は、少なくとも請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と陽極とが真空容器中に配設されているので、電界放射型電子源が冷陰極を構成するから、従来の熱電子放射を利用した熱陰極を有する固体真空デバイスのように加熱手段を設ける必要がなく、小型化が可能になるとともに陰極

物質の蒸発や劣化を抑制することができ、長寿命の固体真空デバイスを実現することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1を示す断面図である。

【図2】同上の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図3】同上の放射電子の測定原理の説明図である。

【図4】同上の電圧電流特性図である。

10 【図5】図4のデータをFowler-Nordheimプロットしたグラフである。

【図6】同上の電子放出機構を説明するバンド図である。

【図7】同上の放出電子のエネルギー分布の説明図である。

【図8】同上の電流の経時変化を示すグラフである。

【図9】同上の電流の真空度依存性を示すグラフである。

20 【図10】実施形態2の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図11】同上の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図12】同上の電圧電流特性図である。

【図13】図12のデータをFowler-Nordheimプロットしたグラフである。

【図14】同上の電流の経時変化を示すグラフである。

【図15】同上の他の構成例の陽極酸化処理の説明図である。

30 【図16】実施形態3の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図17】実施形態4を示す概略構成図である。

【図18】実施形態5を示す要部概略構成図である。

【図19】実施形態6を示す概略構成図である。

【符号の説明】

1 n形シリコン基板

2 オーミック電極

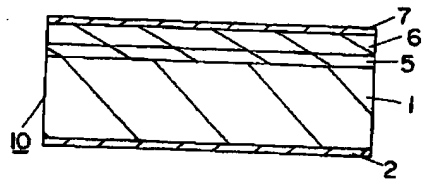
5 急速熱酸化されたポリシリコン層

6 急速熱酸化された多孔質ポリシリコン層

7 金薄膜

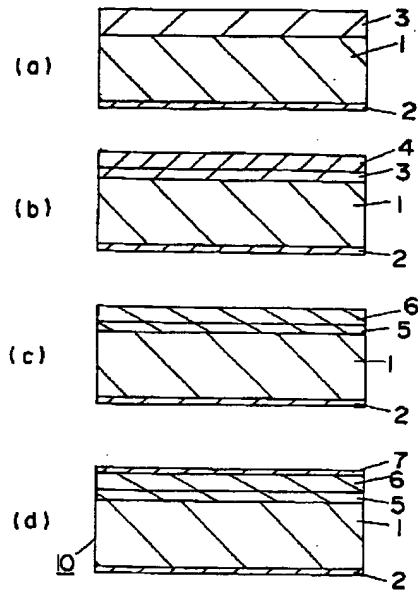
40 10 電界放射型電子源

【図1】

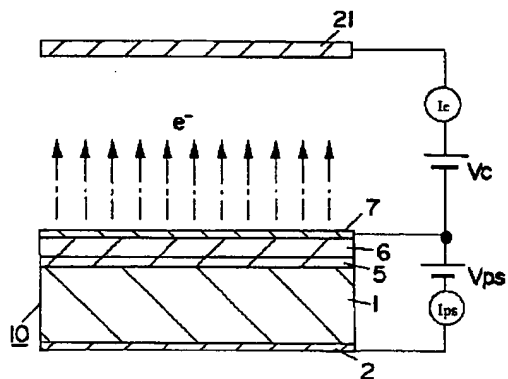


- 1 n形シリコン基板
- 2 オーミック電極
- 5 急速熱酸化されたポリシリコン層
- 6 急速熱酸化された多孔質ポリシリコン層
- 7 金層膜
- 10 電界放射型電子源

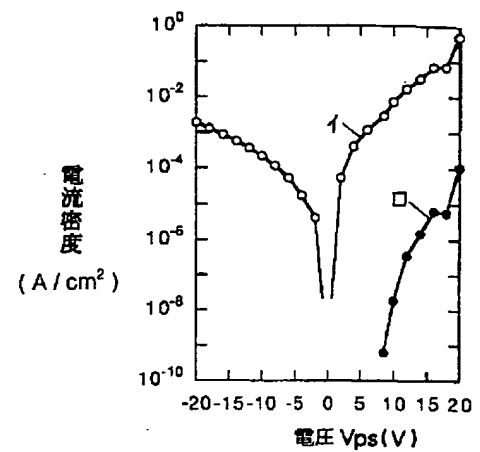
【図2】



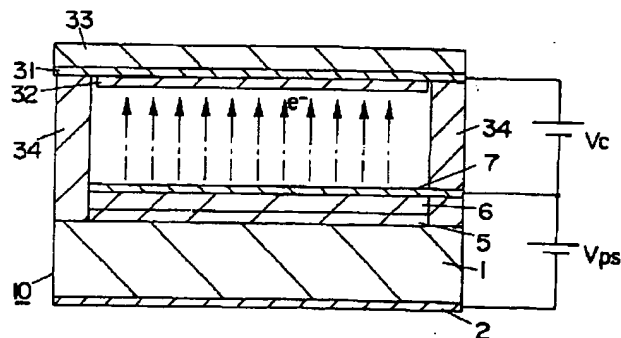
【図3】



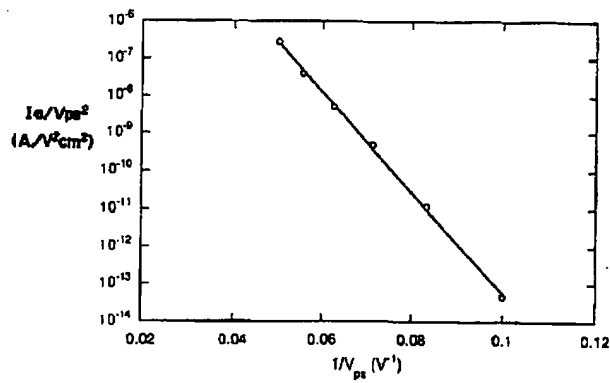
【図4】



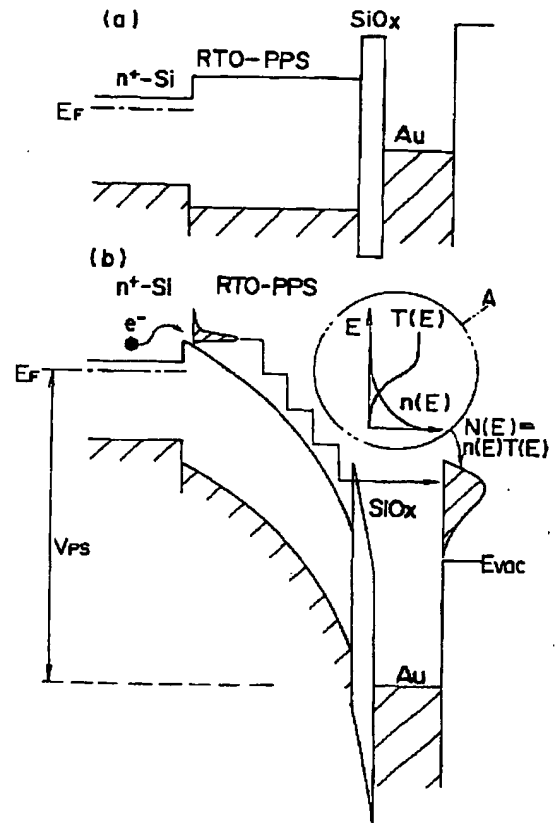
【図17】



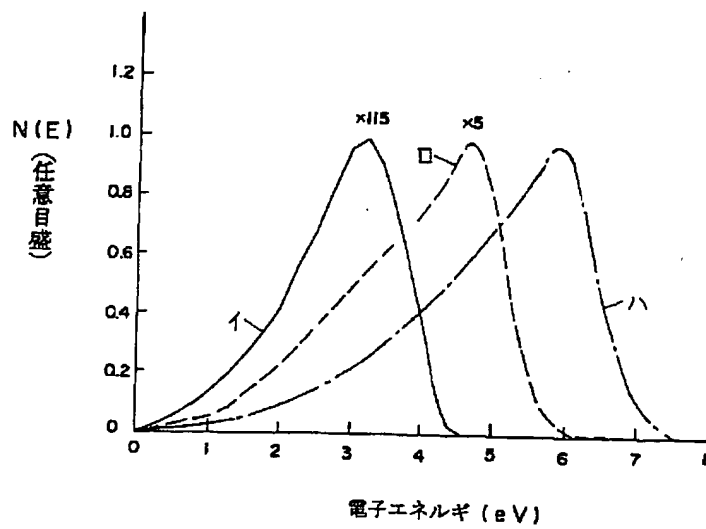
【図5】



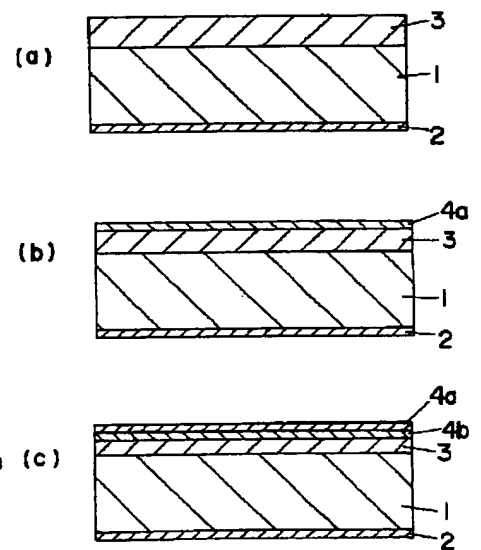
【図6】



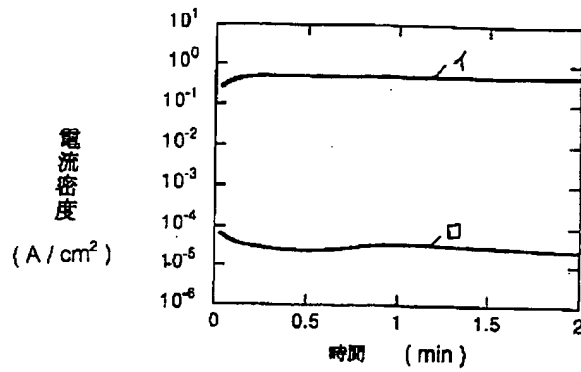
【図7】



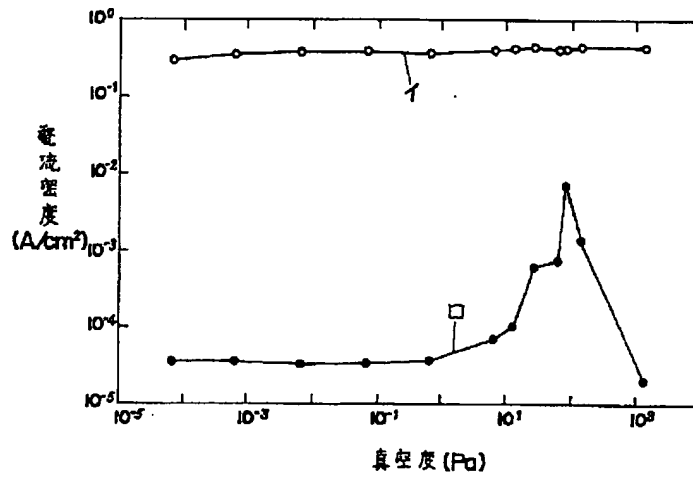
【図10】



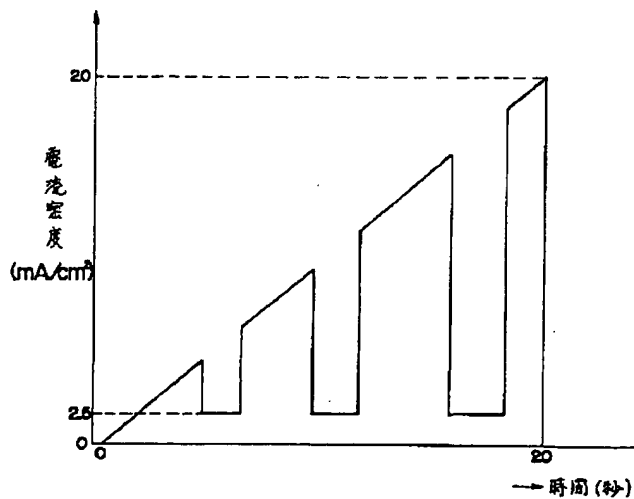
【図8】



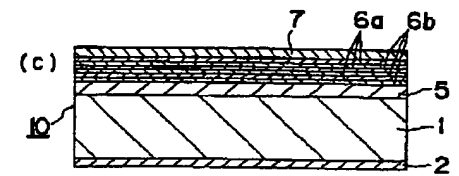
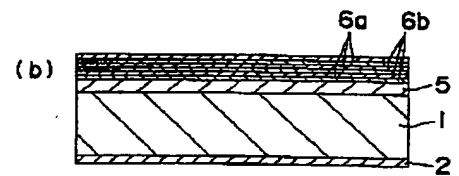
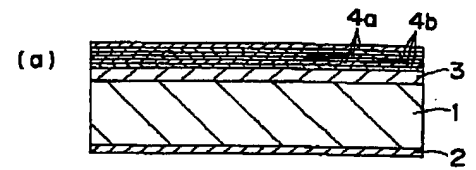
【図9】



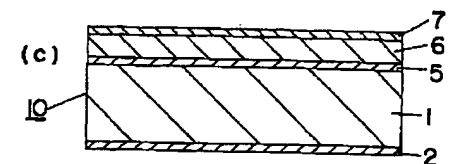
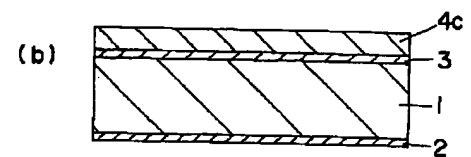
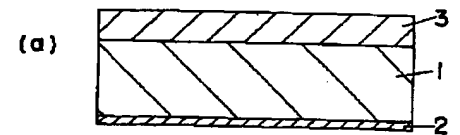
【図15】



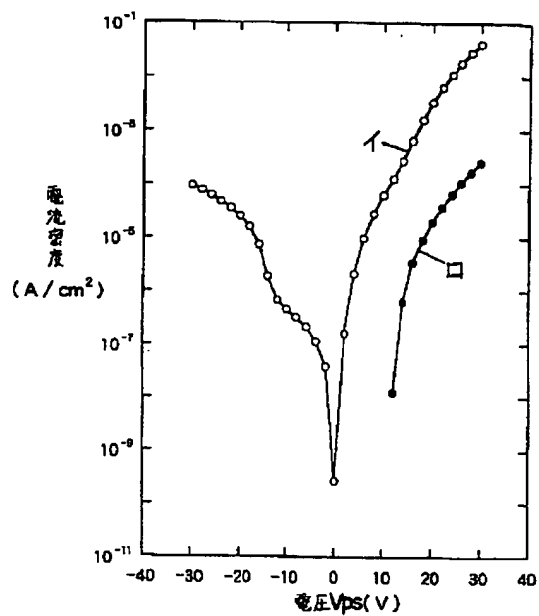
【図11】



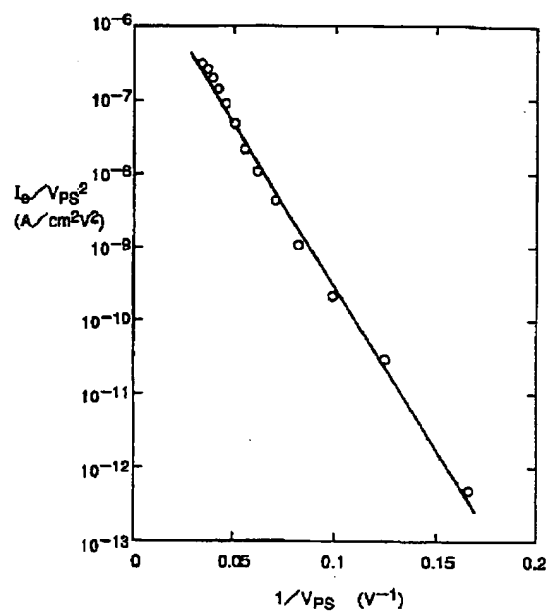
【図16】



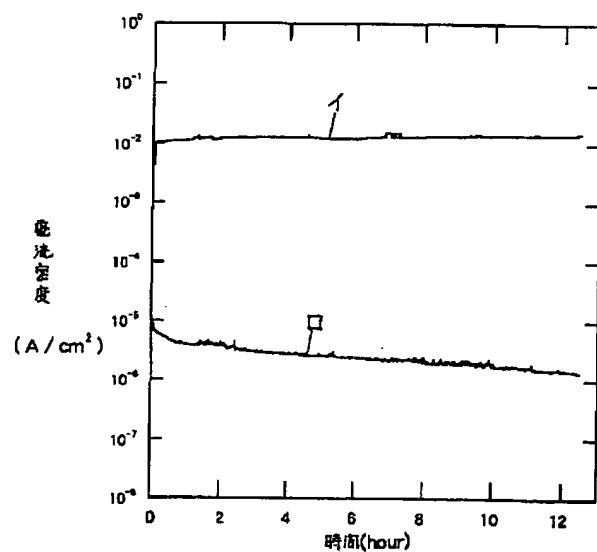
【図12】



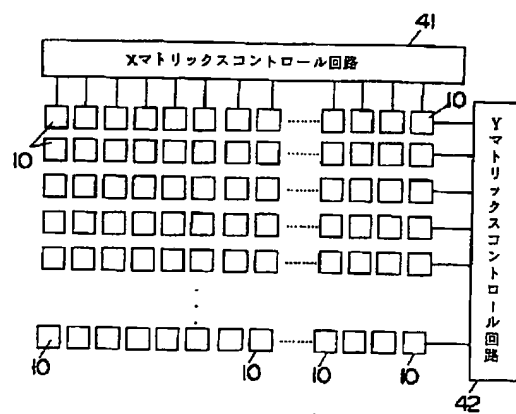
【図13】



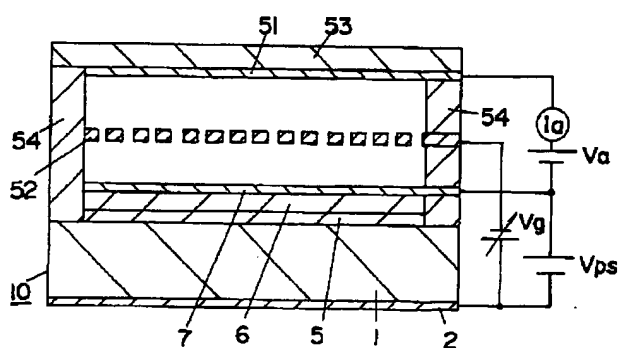
【図14】



【図18】



【圖 19】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

FI

H O 1 J 31/12

H 0 1 J 31/12

C

(56)参考文献

特開 平9-259795 (JP, A)

特開 平10-269932 (J P, A)

Xia Sheng at a
1., "Properties of
Porous Silicon EL
Diodes as Surface-
Emitting Cold Cath
ode (IV)", 第44回応用物理関係
連合講演会予稿集, 平成9年3月, 29p
-Y12

(58)調査した分野(Int.Cl.⁶, DB名)

H01J 1/30

H01J 9/02

H01J 19/24

H01J 21/10

H01J 29/04

H01J 31/12

JICSTファイル (JOIS)

- Y 12